

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI „HUBICOVÁ SPOJKA“ S VYUŽITÍM ZAPICHOVACÍCH CYKLŮ CNC SOUSTRUHU

SOLUTION TECHNOLOGY OF PRODUCTION „HUBICOVÁ SPOJKA“-PART WITH
EFFECTIVE USAGE OF CNC MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUDĚK VĚRNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2008

NETISKNOUT!
Zadání

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout technologii výroby součástí, pomocí dostupných moderních strojů a nástrojů, která by podstatným způsobem snížila výrobní náklady. Jedná se o výrobu součásti „Hubicová spojka“ z mosazi.

Převážná část bakalářské práce je zaměřena na představení těchto prostředků, které v kombinaci s progresivními technologiemi výrazným způsobem snižují výsledné výrobní časy.

Klíčová slova

Obrábění, soustružení, technologie výroby, břitová destička, strojní čas, řídicí systém, multifunkční

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to suggest a technology of production components, that would substantially reduce the production costs, by available and modern machines and tools. The component is called „Hubicová spojka“, (and is made by brass).

The bulk of this bachelor thesis is concentrated on describing these means of production, that in combination with progressive technologies substantially reduce the production time.

Key words

Cutting operation, turning, production technology, cutting tip, machine time, control system, multifunction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VĚRNÝ, Luděk. *Návrh technologie výroby součástí „Hubicová spojka“ s využitím zapichovacích cyklů CNC soustruhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s 40., příloh 8. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh technologie výroby součásti „Hubicová spojka“ s využitím zapichovacích cyklů CNC soustruhu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

12.5.2008

.....

Luděk Věrný

Poděkování

Děkuji tímto především vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	8
1 SOUČÁST	10
1.1 Současná technologie	10
1.1.1 Technologie výroby čepu	11
1.1.2 Technologie výroby matice	12
1.2 Posouzení technologie	13
1.3 Návrh dalšího postupu	13
2 NÁVRH PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE	14
2.1 Volba stroje	14
2.2 Volba polotovaru	17
2.3 Volba nástrojů	18
2.3.1 Princip soustružení s multifunkčními nástroji	18
2.3.2 Multifunkční operace	19
2.3.3 Obrábění mezi stěnami	20
2.3.4 Dokončovací operace (kompenzace průměru)	21
2.3.5 Optimalizace vnitřního obrábění	23
2.3.6 Optimalizace řezných podmínek	25
2.3.7 Modulární řešení nástrojů	26
3 ŘÍDÍCÍ PROGRAM	27
3.1 Volba řídicího systému	28
3.1.1 Řídicí systém Sinumerik (Software)	28
3.1.2 Řídicí systém DMG (Hardware)	28
3.1.3 ShopTurn	30
3.2 Řídicí program	30
3.3 Simulace programu	31
4 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	33
4.1 Vstupní údaje	33
4.2 Získané hodnoty	33
5 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	36
5.1 Zjištěné rozdíly	36
Závěr	37
Seznam použitých zdrojů	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	39
Seznam příloh	40

ÚVOD

Současný poměrně široký sortiment nabízených nejnovějších obráběcích strojů, spolu s nepřehledným množstvím nabídek firem dodávajících nástroje, umožňuje při velmi tvrdé konkurenci relativně výhodné nákupy tohoto vybavení. V kombinaci s nasazením progresivních technologií můžeme dosáhnout velmi významného zkrácení strojních časů za současného zvýšení jakosti vyráběných dílců.

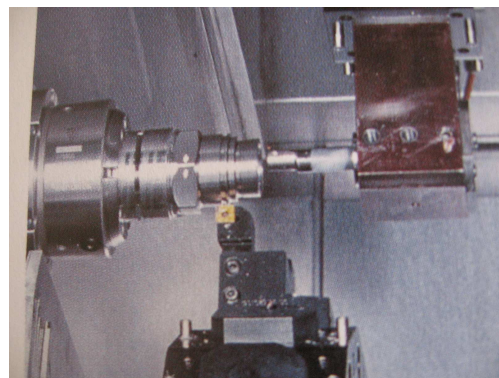
V oblasti obrábění rotačních součástí nám tento efekt umožňuje nasazení soustružnických číslicově řízených automatů. Ať už v provedení víceřetenových, určených spíše pro hromadnou výrobu, nebo vícerevolverových v kombinaci s protivřetenem, sloužících k obrobení složitých dílců na jedno upnutí za současného soustružení několika nástrojů v řezu (viz Obr. 2). V kombinaci s poháněnými nástroji a řízenou Y a C osou můžeme na těchto strojích komplexně obrábět velmi komplikované dílce (viz Obr. 1).

Nasazením zapichovacích multifunkčních nožů můžeme dosáhnout výrazné úspory v počtu použitých nástrojů. Nelze opomenout ani zlepšení kvality dokončovaných povrchů v porovnání s výsledky dosaženými ISO nástroji při stejných řezných podmínkách. Menší počet nástrojů nám nejen výrazně snižuje přímé pořizovací náklady, ale současně i zkracuje hlavní a vedlejší strojní časy. Tento způsob nám navíc díky úspoře nástrojových pozic stroje umožňuje i nasazení tzv. sesterských nástrojů, nezbytných pro bezobslužný provoz stroje.

V této práci se chci pokusit nastínit možnosti využití nových dostupných soustružnických technologií využitelných v podmínkách menší strojírenské firmy.



Obr. 1 Součást převodovky (5)



Obr. 2 Současné obrábění dvou nástrojů v řezu (5)

Návrh nové progresivní technologie bude zpracováván pro Kovoobráběčství pana Mgr. Miroslava Věrného. Jde o malou rodinnou firmou, která v současné době řeší situaci, jak využít zvyšující se poptávku po kusové a malosériové výrobě, ale i nadále zůstat čistě rodinným podnikem. Za jedinou vhodnou možnost považuji zkrácení výrobních hlavních a vedlejších časů při současném zvýšení kvality výrobků, což by nasazení progresivní technologie mělo umožnit. Jelikož současné strojní vybavení firmy tvoří starší konvenční stroje (viz Obr. 4 a 5), na nichž není možné efektivně využít potenciál dostupných nástrojů, je nezbytné doporučit pořízení číslicově řízeného stroje. Toto kovoobráběčství

vyrábí širokou škálu, zejména rotačních, dílců (viz Obr. 5), a proto jedním z hlavních kritérií výběru nového soustružnického stroje musí bezpodmínečně být jeho univerzálnost.



Obr. 3 Ukázka z dílny



Obr 4 Ukázka z dílny



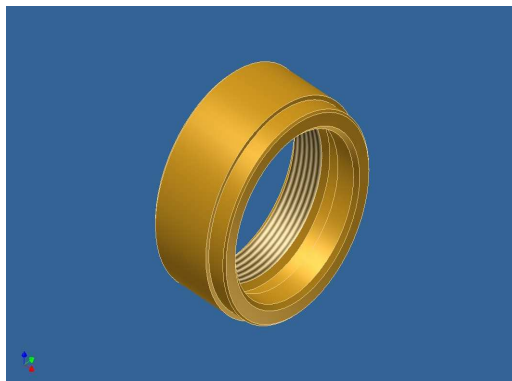
Obr. 5 Koncovka pojistného ventilu

1 SOUČÁST

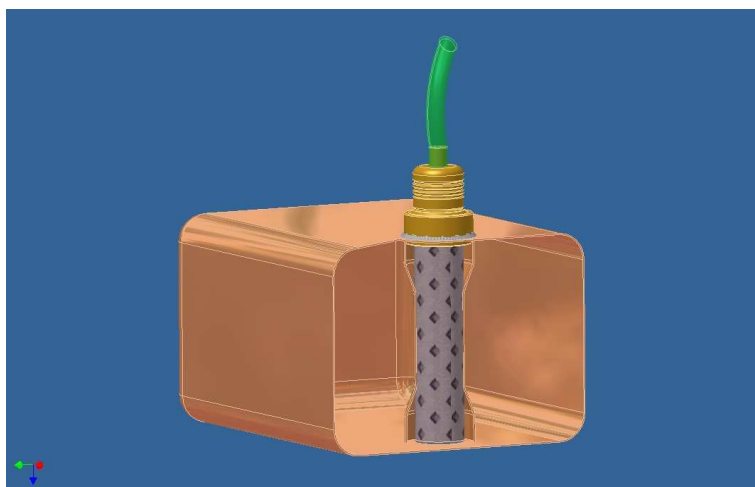
Aby bylo možné porovnat strojní časy při výrobě na současném vybavení s možnými časy v případě využití moderního číslicově řízeného stroje, byla zvolena pro tuto práci jedna z již vyráběných součástí. Jedná se o jednu z komponent nádrže na technický líh (viz Obr. 8), hubicovou spojku. Skládá se z matice (viz Obr. 7), navařené na měděnou nádrž, a čepu (viz Obr. 6), který je zašroubován do této matice a čelně drží filtr ve své poloze. Součást je vyráběna v opakovaných sériích 300 kusů měsíčně.



Obr. 6 Čep hubicové spojky



Obr. 7 Matice hubicové spojky





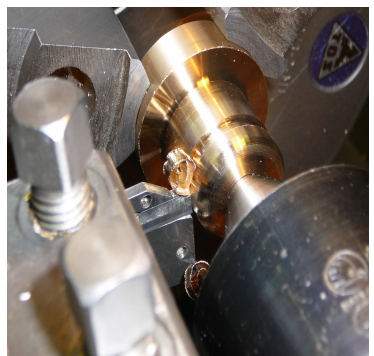
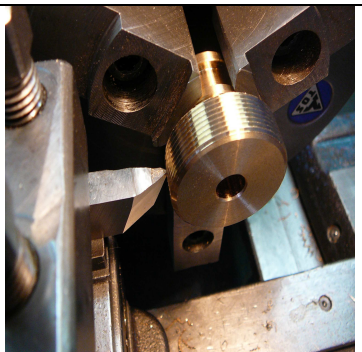
Obr. 8 Nádrž na technický líh

1.1 Současná technologie

Doposud byla součást vyráběna konvečním způsobem, a to konkrétně na univerzálním hrotovém soustruhu SV 18 R. Výchozím polotovarem je tyčový materiál o průměru 50 mm. Jedná se o mosaz Ms 58 Pb. Výpočet normy spotřeby materiálu a technické údaje soustruhu jsou součástí přílohy 8 a 5.


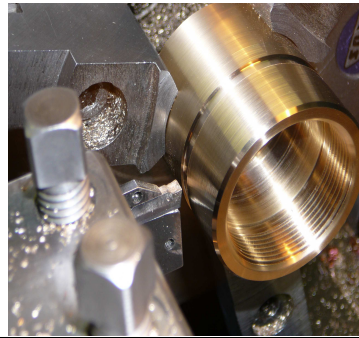

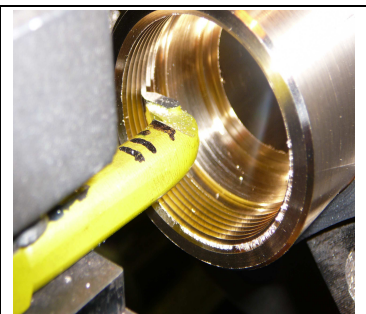
Následuje stručný výrobní postup pro čep a matici. Podrobný výrobní postup i s uvedením jednotkového strojního času cyklového t_{AS} a jednotkového času práce t_{AC} pro jednotlivé operace je součástí přílohy 2 a 4.

1.1.1 Technologie výroby čepu

Operace	Popis operace	Snímek operace
č. 1.	Zarovnat polotovar na délku s přídkem. Navrtat. Vrtat díru průměr 10 mm. Soustružit na Ø 49 mm a srazit hranu.	
č. 2.	Otočit obrobek a upnout do přímých čelistí. Podepřít otočným hrotem. Soustružit na průměr pro závit s přídkem 0,5 mm v délce 18 mm. Srazit hranu 2,5x45°	
č. 3.	Otočit obrobek a upnout do přímých čelistí. Podepřít otočným hrotem. Soustružit osazení na Ø 26 mm v délce 27mm s 0,5 mm přídkem na čele. Soustružit tvarovou plochu R4. Soustružit tvarovou plochu R3 s dokončením čela na čisto. Soustružit zápichy.	
Č. 4.	Otočit obrobek a upnout do operačních čelistí. Soustružit průměr pro závit na čisto. Srazit hranu 2x45° Soustružit závit M40x1,5-6g.	

Celkový výrobní čas pro výrobu čepu je 6,24 minuty.

1.1.2 Technologie výroby matice

Operace	Popis operace	Snímek operace
č. 1.	Upnout do přímých čelistí v délce 15 mm. Soustružit čelo s délkovým přídkem 0,5. Soustružit na $\varnothing 49$ mm v délce 20 mm. Srazit hranu $1 \times 45^\circ$.	
Č. 2.	Otočit obrobek a upnout v délce 15 mm do operačních čelistí. Soustružit čelo na čisto. Soustružit na $\varnothing 49$ v délce 22 mm. Vrtat díru na $\varnothing 37$ mm. Rozpichnout obrobek s 0,5 mm přídkem na čele.	
č. 3.	Upnout obrobek do operačních čelistí v délce 15 mm. Soustružit čelo na čisto. Sous. osazení na $\varnothing 47$ mm v délce 3 mm. Soustružit díru na čisto pro závit. Srazit hrany $0,5 \times 45^\circ$ respektive $1 \times 45^\circ$.	
č. 4.	Otočit obrobek a upnout v délce 17 mm do operačních čelistí. Soustružit zápich pro závit. Srazit hranu v díře $2 \times 45^\circ$. Soustružit závit M40x1,5-6H.	

Celkový výrobní čas pro výrobu matice je 4,37 minuty.

1.2 Posouzení technologie

Současná technologie není nejefektivnější. Určité rezervy jsou především v těchto oblastech:

- změna polotovaru čepu (tyč průměr 42 mm)
- změna polotovaru matice (tlustostěnná trubka)
- převedení operací vrtání na vrtačku
- změna posloupnosti operací
- použití přípravků

Dle odhadů bychom však mohli změnami docílit maximálně 10% časové úspory. Jelikož se ale v našem případě jedná o malou sérii, nedosáhli bychom ve výsledku, při vyšších cenách použitých přípravků a polotovarů, žádoucí významné úspory.

1.3 Návrh dalšího postupu

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že je nutné zvolit jinou cestu. Snížení výrobního času minimálně o 50 %, prostřednictvím nové výrobní technologie, by totiž mělo být základním cílem této práce. Předpokladem k úspěchu by měla být zejména vhodná volba stroje a nástrojů, jejichž vzájemnou interakcí s progresivní technologií vytvoříme podmínky pro co nejefektivnější výrobu.

2 NÁVRH PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE

Pro návrh progresivní technologie výroby dílce „Hubicová spojka“ je vhodné použít číslicově řízený soustružnický automat se dvěma revolverovými hlavama a protivřetenem. Tento typ uspořádání stroje nám umožňuje vyrobit danou součást na jedno upnutí. Jelikož každé z vřeten má svoji revolverovou hlavu, a součásti tedy mohou být vyráběny v obou vřetenech nezávisle na sobě, podaří se nám tím snížit strojní výrobní časy až o 50 % ve srovnání s konvenčním způsobem soustružení. Konstrukce dílce nám dovoluje naplno využít potenciálu, který nám poskytuje rozvržení pracovního prostoru stroje a 8 řízených os.

Využití zapichovacích cyklů spolu s multifunkčními nástroji umožňuje radikální snížení počtu nástrojů potřebných pro obrábění, proto lze tento postup určitě doporučit. Při tomto soustružení vnějších, vnitřních, podélných nebo čelních tvarů jde o metodu postupného zapichování, při které se hlavní řezný pohyb nástroje realizuje radiálním směrem, tedy v ose X. Zakončen je vždy na hodnotě definovatelného kroku, který nesmí přesáhnout délku destičky řezného nástroje. Následuje výjezd nože z řezu a automatické axiální přestavení o hodnotu odpovídající cca 75 % délky hlavního ostří nástroje. V případě, že kontura charakterizuje tvar stejných opakujících se prvků, lze jejich počet a vzájemnou rozteč zjednodušeně předepsat. (9) Dále můžeme využít multifunkční nástroje při klasickém podélném soustružení v ose Z. Je sice omezeno především v hloubce řezu, ale při splnění základních pravidel pro použití těchto nástrojů můžeme docílit ve spojení s již zmíněným zapichovacím cyklem velmi efektivního soustružení.

2.1. Volba Stroje

Pro danou progresivní technologii bylo vybíráno z bohatého portfolia výrobních strojů Německé společnosti Deckel Maho Gildemeister, respektive italské divize Gildemeister, která se přímo zaměřuje na výrobu číslicově řízených soustružnických automatů.

Konkrétně se jedná o soustružnický automat modelové řady Sprint 65 linear, vyráběný ve dvou základních modifikacích, a to v provedení se dvěma revolverovými hlavama a protivřetenem, nebo třema revolverovými hlavama a protivřetenem. (1)

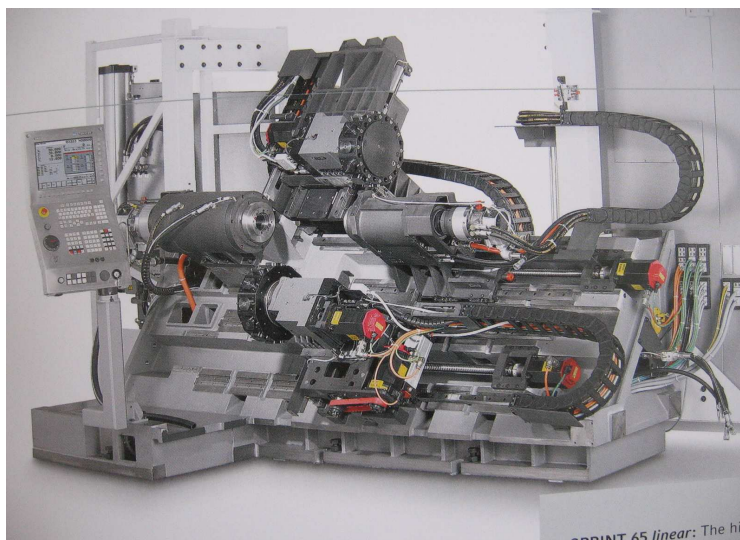
V provedení Sprint 65-10 linear se třema revolverovými hlavama (Obr. 11) získáváme navíc 12 poháněných nástrojů, což představuje při současném řezu tří nástrojů další významné úspory ve výrobních časech. Tato varianta se sebou však nese mnohem větší nároky na technologa, který by pravděpodobně v kusové a malosériové výrobě nedokázal využít efektivně potenciál tohoto stroje.

Především z důvodu výše pořizovacích nákladů (základní cena modelu od 280000 €) byla doporučena základní dvouhlavová varianta (viz Obr. 10), která bez obtíží splňuje požadavky na výrobu většiny dílců z výrobního sortimentu. Tento stroj nám díky použití nejnovějších komponent při jeho výrobě a výhodném uspořádání pracovního prostoru (viz Obr. 9) umožňuje nasazení těch

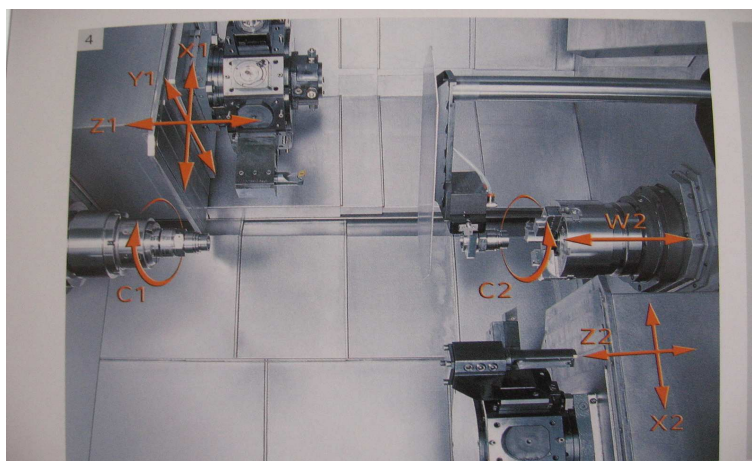
nejnáročnějších technologických strategií. Základní technické údaje stroje jsou obsaženy v Tab. 1. (1)

Tab. 1 Technické data stroje SPRINT 65-8 *linear* (1)

Typ stroje	SPRINT 65-8 <i>linear</i>	
Počet os		6 + 2
Hlavní vřeteno		
Vrtání vřetene	mm	70
Oběžný průměr nad ložem	mm	175
Maximální otáčky vřetena	ot.min ⁻¹	5000
Výkon motoru pro pohon vřetena	kW	25
Protivřeteno		
Vrtání vřetene	mm	45
Oběžný průměr nad ložem	mm	175
Maximální otáčky vřetena	ot.min ⁻¹	5000
Výkon motoru pro pohon vřetena	kW	17
Posuvy		
Rychloposuv	m.min ⁻¹	30
Maximální akcelerace posuvů	m.s ⁻²	5
Dráha posuvu X1	mm	165
Dráha posuvu Y1	mm	80 (-50/+30)
Dráha posuvu Z1	mm	650
Dráha posuvu X2	mm	165
Dráha posuvu Z2	mm	640
Revolverové hlavy		
Počet revolverových hlav	ks	2
Počet nástrojových pozic na jedné revolverové hlavě	ks	12
Poháněné pozice na jedné revolverové hlavě	ks	12
Průměr upínací díry pro nástroje (DIN 69880)	mm	30
Maximální otáčky poháněných nástrojů	ot.min ⁻¹	4000
Maximální výkon poháněných nástrojů	kW	5,5
Hmotnost	kg	9000



Obr. 9 Odkrytý soustružnický automat Sprint 65-8 linear (5)



Obr. 10 Uspořádání pracovního prostoru Sprint 65-8 linear (5)

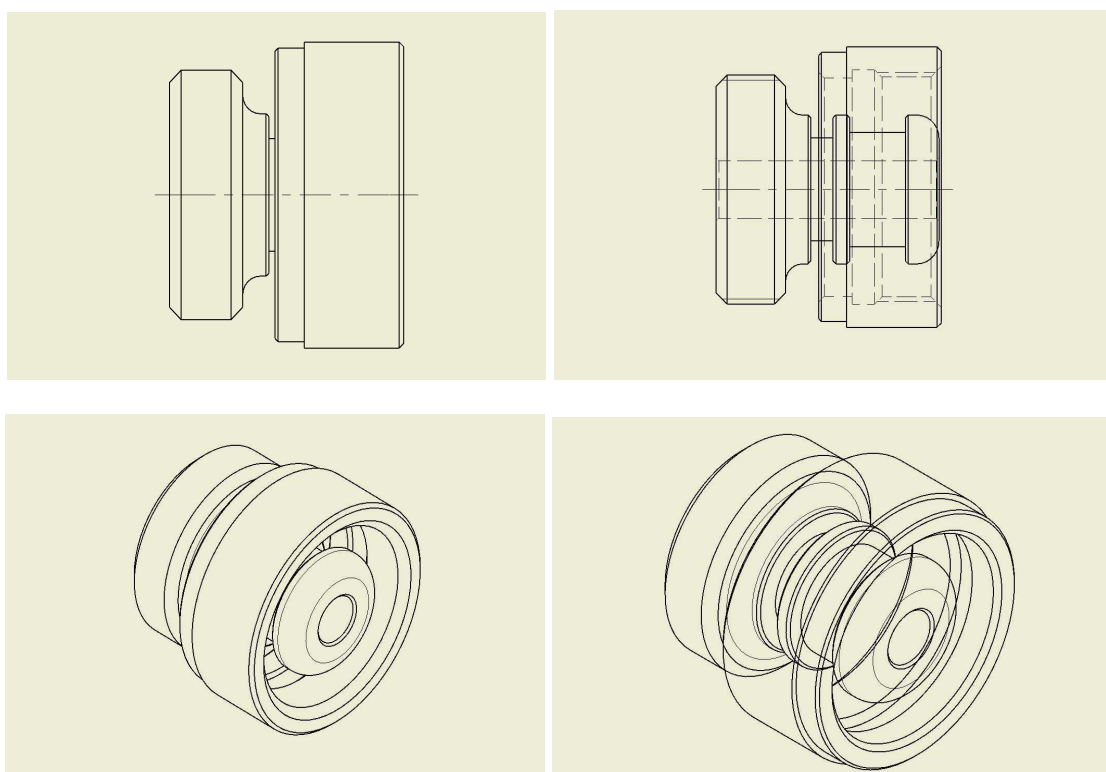


Obr. 11 Sprint 65-10 linear (5)

2.2 Volba polotovaru

Součást bude vyráběna z výchozího tyčového polotovaru o průměru 50 mm a délce 3 m. Následuje nařezání na metrové přířezy. Dále lze použít standardní podavač (volitelná součást příslušenství), nebo může být tyč potahována protivřetenem. Tato druhá možnost byla zvolena pro návrh nové technologie.

Součást je vyráběna z mosazi Ms 58 Pb o složení 58 % Cu + 40 % Zn + 2 % Pb. Je to materiál dosahující pevnosti až 520 MPa při velmi dobré obrobiteľnosti a svařitelnosti odporovým tvrdým i měkkým svařováním. Používá se pro součásti hromadně vyráběné, zejména ve vodohospodářském průmyslu pro těla různých armatur a v elektrotechnickém průmyslu. (8)



Obr. 12 Návrh maximálního využití materiálu

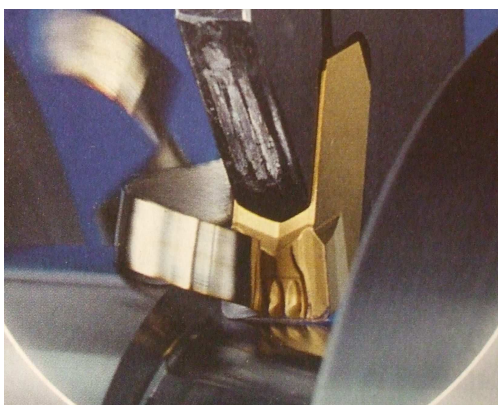
Konstrukce dílce v kombinaci s navrhovanou technologií nám umožňuje podstatně vyšší využití materiálu, a to až o 14,3 % dle výpočtů normy spotřeby materiálu, které jsou součástí přílohy 8. Matici můžeme vyrobit z přebývajícího materiálu čepu, který je při současné technologii bez využití odsoustružen v podobě třísek. Na odpadu tak dosáhneme úspory 41 %, což je samozřejmě jedním z našich cílů.

2.3 Volba nástrojů

Tvar dílce umožňuje efektivní využití zapichovacích cyklů, respektive zapichovacích multifunkčních nožů (viz Obr. 13), s kterými při správné aplikaci můžeme dosáhnout výrazného zkrácení strojních časů a dokonce i zlepšení dokončovaných povrchů (ve srovnání s výsledky dosaženými ISO nástroji při stejných řezných podmínkách). Výrazně se tím snižují i pořizovací náklady na obráběcí nástroje.

Pro danou součást budeme potřebovat jen jeden druh zapichovací řezné destičky, která bude použita v různých nástrojových držácích pro danou operaci. Nasazení jen jednoho druhu přináší velkou výhodu při objednávání náhradních destiček, zároveň se tím mimo jiné snižuje i možnost chyb při objednávání, následném skladování a manipulaci obsluhy při výměně.

Nástroje byly vybrány z nabídky izraelské společnosti Iscar, která se řadí mezi významné dodavatele nástrojů pro obrábění. Konkrétně se jedná o soustružnické zapichovací systémy Iscar-Grip.



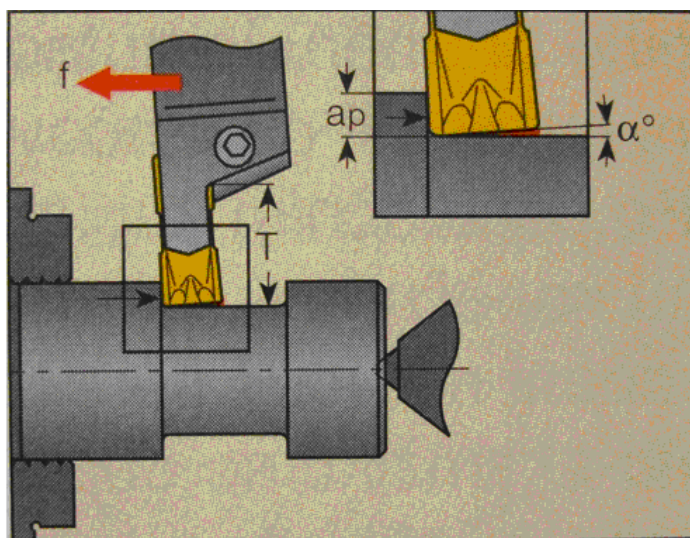
Obr. 13 Ukázka podélného soustružení s multifunkčním nástrojem (3)

2.3.1 Princip soustružení s multifunkčními nástroji

Základním principem soustružení s nástroji systému Iscar-Grip je výchylka řezného nástroje, která vytvoří čelní úhel α mezi destičkou a obrobkem, jak je to znázorněno na Obr. 14. Úhel α je funkcí bočních řezných sil a není konstantní, jak je tomu v případě ISO destiček. Výchylka je ovlivněna následujícími faktory.

- Posuv f
- Hloubka řezu a_p
- Vyložení podpěry destičky T
- Šířka podpěry destičky A
- Řezná rychlost v_c
- Materiál obrobku

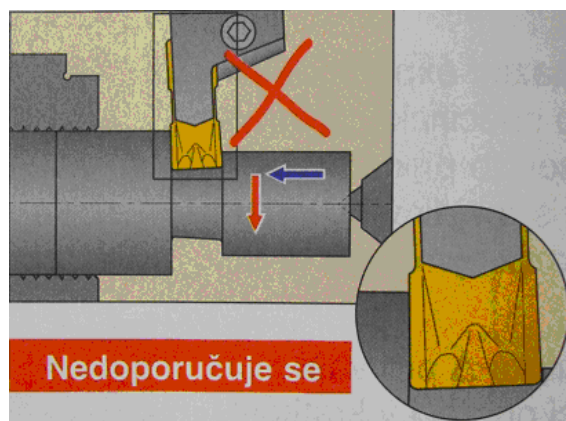
Pokud všechny shora uvedené faktory zůstávají konstantní během soustružení, může být dosažen vysoký stupeň přesnosti až do $\pm 0.01 \text{ mm}$. (4)



Obr. 14 Princip soustružení se systémem Iscar-Grip (4)

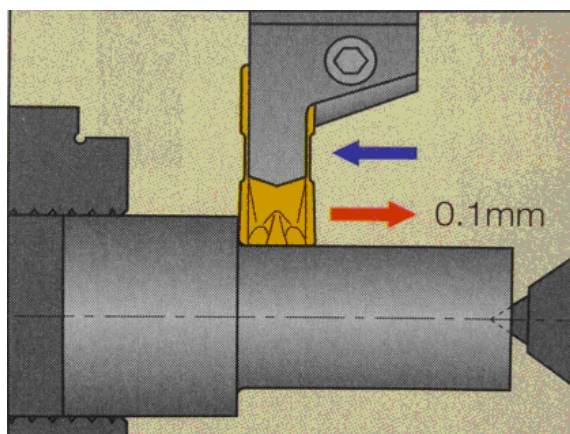
2.3.2 Multifunkční operace

Cut-Grip nástroje jsou multifunkční, schopné pracovat ve sledu zapichovacích a soustružnických režimů. Změna ze soustružení na zapichování však vyžaduje brát ohled na základní Grip princip a vyloučit tak možnost zlomení vyměnitelné destičky. Za této situace je proto nutno uvolnit boční výchylku, která je sice nezbytná pro soustružení, ale nedoporučuje se pro zapichování. (4)



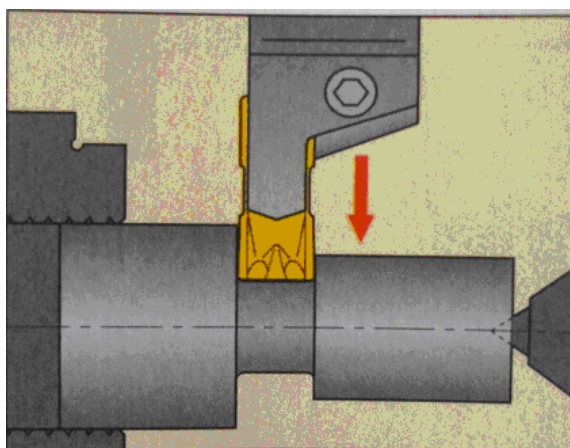
Obr. 15 Špatný postup (4)

Doporučuje se následující pořadí obrábění. Po dokončení podélného soustružení, avšak před započatím zapichování, musí být uvolněna boční výchylka. Proveďte se to pohybem nástroje v opačném směru proti posuvu přibližně o 0.1 mm a opětovým návratem do původní pozice, avšak bez bočního zatížení (viz Obr. 15, 16 a 17). (4)



Obr. 16 Odlehčení břitu (4)

Potom, po uvolnění výchylky a tím opětém zajištění kolmosti držáku k obrobku, může být zapichovací operace zahájena.



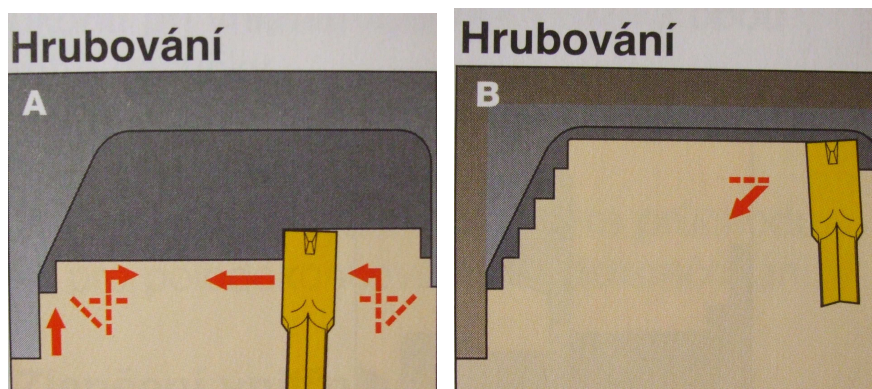
Obr. 17 Dokončení zapichovací operace (4)

2.3.3 Obrábění mezi stěnami

Jedna z nejvýznamnějších výhod systému Cut-Grip je schopnost obrábět mezi stěnami. Pro dosažení nejlepších výsledků je doporučována následující posloupnost.

Hrubování:

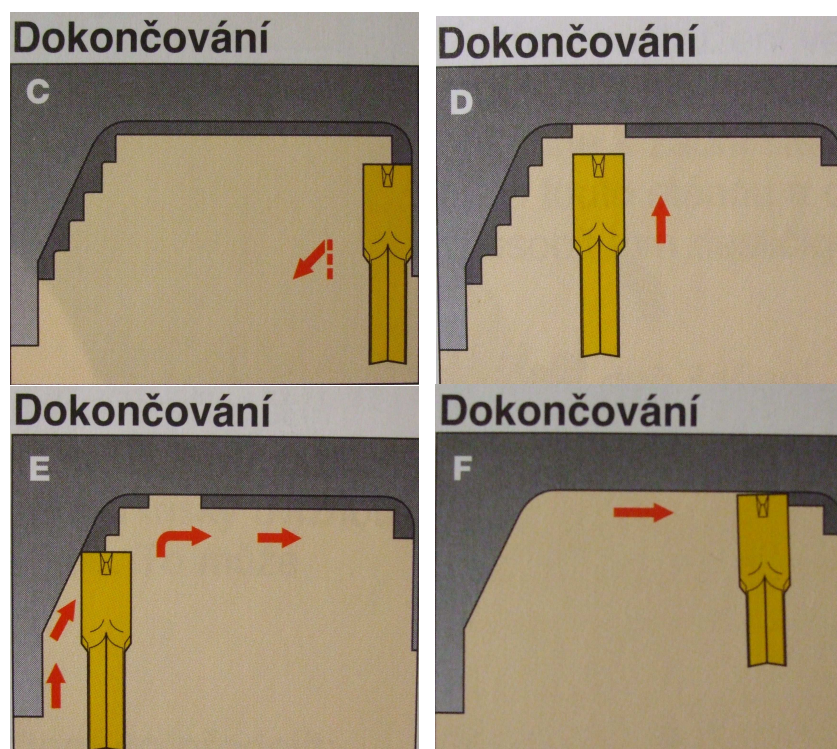
Zapustit na hloubku řezu. Vrátit zpět o 0,2 mm v radiálním směru. Soustružit podélně, odlehčit na konci řezu o 0,2 mm současně v radiálním i axiálním směru. Zapustit opět a opakovat stejný cyklus s ponecháním odstupňovaného přídavku 0,2 mm na bocích pro dokončovací řez (viz Obr.18). Minimální hloubka řezu musí být $a_p \geq R$ (rádius rohu). (4)



Obr. 18 Postup hrubování systémem Cut-Grip mezi stěnami (4)

Dokončování:

Zapustit na pravé straně a vytvořit tečnu k rádiu dna. Odlehčit a uvolnit dotkový bod rádiu na druhé straně. Odlehčit a obrobit všechny kontury a dno při využití kompenzačních hodnot (viz Obr.19). (4)



Obr. 19 Postup dokončování systémem Cut-Grip mezi stěnami (4)

2.3.4 Dokončovací operace (kompenzace průměru)

Pro dosažení finálního průměru je nutno použít kompenzační faktor při dokončovací obráběcí operaci. Po počátečním zapíchnutí až k požadovanému konečnému průměru se změní směr obrábění na podélné soustružení. V tomto okamžiku se objeví výchylka, a jestliže obrábění bude pokračovat bez korekce, roh A se zařízne do obráběného materiálu. Výsledkem toho budou dva rozdílné

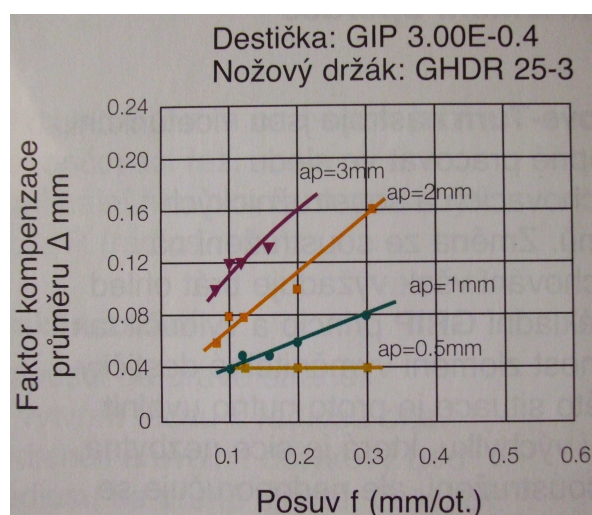
průměry: $\varnothing D1$ po zapíchnutí a $\varnothing D2$ po soustružení (viz Obr. 21). Rozdíl mezi $\varnothing D1$ a $\varnothing D2$ je hodnota, kterou definujeme jako Δ . Kompenzační faktor je $0,5\Delta$, jak je zobrazeno ve vzorci (2.1).

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{\varnothing D1 - \varnothing D2}{2} \quad (2.1)$$

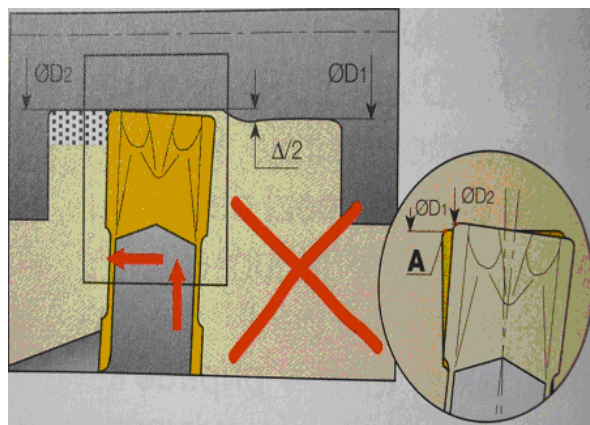
Použití kompenzačního faktoru zabrání vzniku malého povrchového stupně. Je však nutno dodržet tento jednoduchý postup během obrábění:

1. Zápich na finální průměr.
2. Vrátit nástroj zpět o vzdálenost rovnající se hodnotě $0,5\Delta$ (viz Obr. 22).
3. Pokračovat podélnou dokončovací soustružnickou operací (viz Obr. 23).

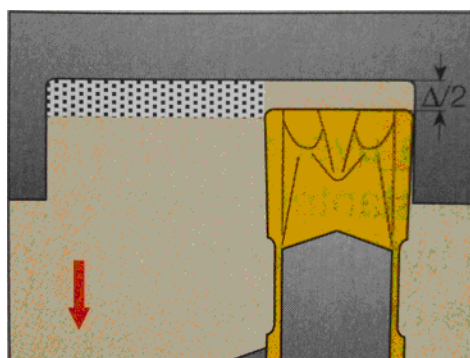
Charakteristické hodnoty Δ jsou znázorněny na diagramech, které ukazují experimentální výsledky pro specifické podmínky obrábění. Jsou to příklady hodnot měnících se s rozdílnými materiály obrobků a rozdílnými typy držáků (viz Obr. 20). (4)



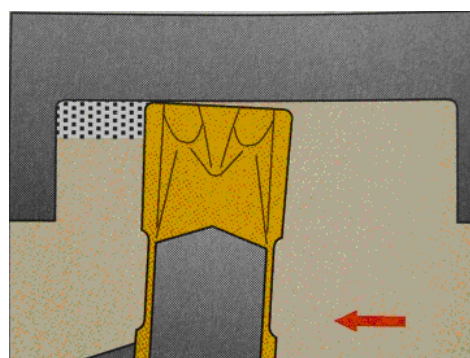
Obr. 20 Tabulka charakteristických hodnot Δ pro destičku GIP 3.00E-0.4 (4)



Obr. 21 Nesprávný postup podélného soustružení (4)



Obr. 22 Zapíchnutí na finální průměr, vrácení nástroje o vzdálenost $0,5 \cdot \Delta$ (4)

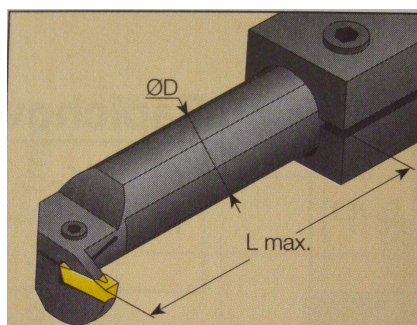


Obr. 23 Dokončení podélné operace (4)

2.3.5 Optimalizace vnitřního obrábění

Vyložení nástroje je vždy doporučováno používat co možno nejmenší, aby bylo dosaženo maximální tuhosti nástroje. Podle všeobecného pravidla by maximální vyložení nemělo přesáhnout trojnásobek průměru upínací tyče.

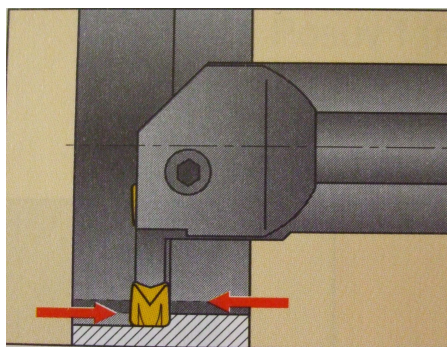
$$L_{\max} \leq 3D$$



Obr. 24 rozměry pro určení vyložení nástroje (4)

Pro účelné využití rohů vyměnitelné destičky je doporučováno soustavné zlepšování hospodárnosti optimalizací možností destiček Cut-Grip. Doporučený sled úkonů při vnitřním obrábění využívá obou rohů destičky (viz Obr.25).

1. Při prvním průchodu je využit jeden roh pro hrubování.
2. Další roh je využit při zpětném průchodu pro polodokončování nebo dokončování.

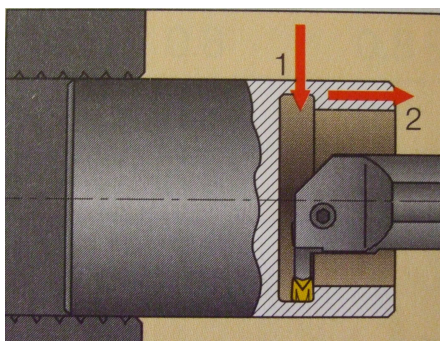


Obr. 25 Účelné využití rohů destičky (4)

Vnitřní soustružení ve slepé díře přináší problém s odstraňováním třísek. Když nástroj dosáhne k zadní stěně, mohou třísky uvíznout mezi touto stěnou a destičkou. To může způsobit lom destičky. Existují dvě řešení, jak tomuto předejít.

První řešení (viz Obr. 26).

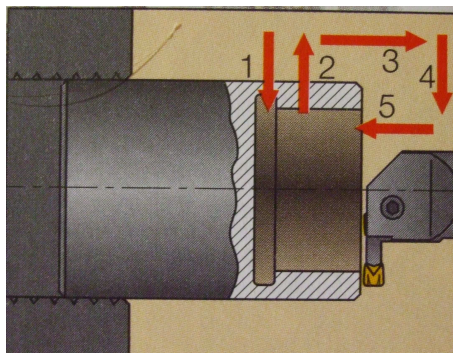
1. Začít se zápichem u zadní stěny.
2. Pokračovat se soustružením z vnitřku směrem ven.



Obr. 26 Bezpečný způsob obrábění slepé díry (4)

Druhé řešení (viz Obr. 27).

Začít se zápichem u zadní stěny. Vytáhnout nástroj ven z otvoru. Soustružit finální průměr z venku směrem k zápichu.



Obr. 27 Další bezpečný způsob obrábění slepé díry systémem Cut-Grip (4)

2.3.6 Optimalizace řezných podmínek

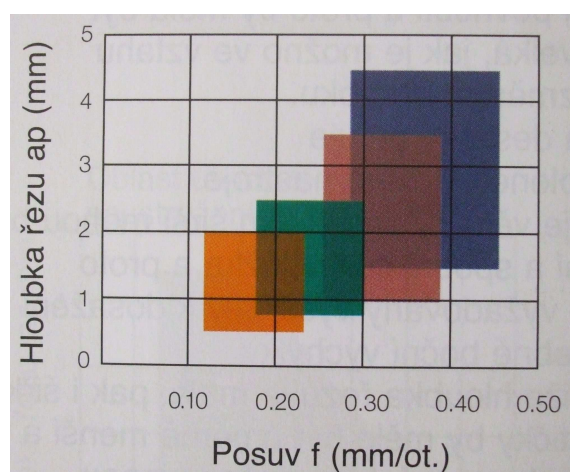
Hloubka řezu a posuv přímo ovlivňují výkon a životnost vyměnitelné destičky. Jestliže hloubka řezu je příliš velká pro šířku destičky, nebo posuv příliš vysoký, respektive větší než získané hodnoty ze vztahu (2.2 a 2.3), destička může být přetížena, což způsobí rychlou destrukci. Tabulka vymezuje doporučené rozsahy pro hloubky řezu a_p a posuvy f pro každou šířku W destičky (viz Obr. 28). Jestliže hloubka řezu k posuvu je příliš malá (viz Tab. 3.), výsledné boční síly nebudou dostačující k zabezpečení správné výchylky nástroje. Mohou se tak objevit vibrace a nestabilita.

Maximální hloubka řezu

$$a_{p \max} = W \times 0.8 \quad (2.2)$$

Maximální posuv

$$f_{\max} = W \times 0.075 \quad (2.3)$$



Obr. 28 Tabulka závislosti posuvu na hloubce řezu pro různé šířky destičky (4)

Minimální hloubka řezu.

Hloubka řezu má významný vliv na boční výchylku. Při použití malé hloubky řezu k dané šířce destičky může být výchylka příliš malá a neúčinná. To může způsobit vibrace. Při dokončovacích operacích, kdy hloubka řezu je obvykle minimální, je důležité vybrat správnou vyměnitelnou destičku s malou šířkou a malým rohovým rádiusem. Tabulka uvádí doporučenou minimální hloubku řezu a minimální posuv jako funkce šířky destičky a rádiusu rohu destičky (viz Tab. 3.). (4)

Tab. 2 Tabulka minimální hloubky řezu a posuvu (4)

W (mm)	R (mm)	a_p min (mm)	f min (mm.ot. ⁻¹)
3	0.4	0.5	0.2
4	0.4	0.5	0.2
4	0.8	0.8	0.2
5	0.4	0.5	0.2
5	0.8	0.8	0.2
6	0.8	0.8	0.2
8	0.8	0.8	0.22
10	0.8	0.8	0.25

Další faktory, jako volba šířky a tvaru destičky, ovlivňující řezné podmínky jsou součástí přílohy 6 a 7.

2.3.7 Modulární řešení nástrojů

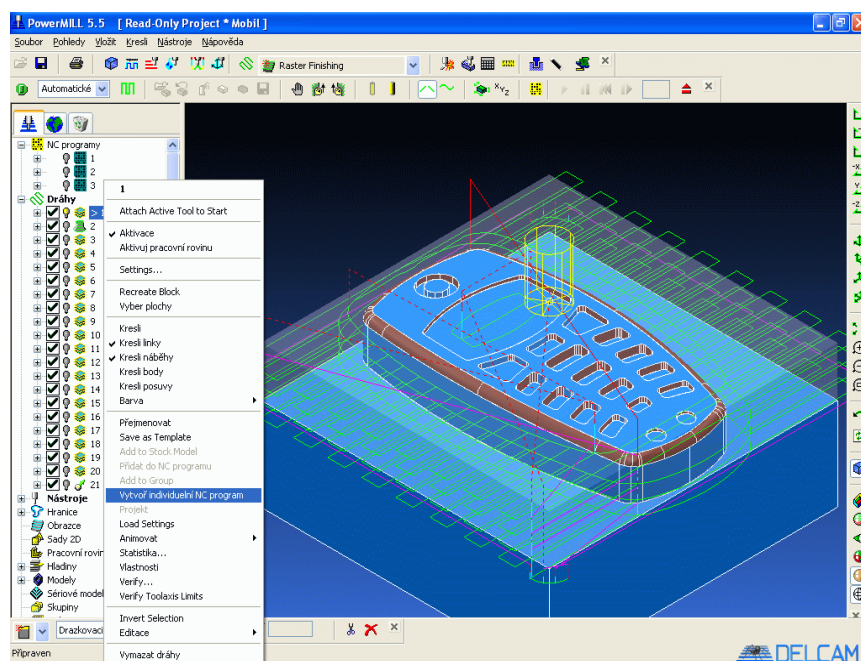
V nabídce společnosti Iscar figuruje i systém Modular-Grip (viz Obr. 29) využívající jeden přímý, nebo kolmý držák, který lze použít pro mnoho různých aplikací, což významně snižuje náklady na nástroje a jejich následné skladování.



Obr. 29 Modulární systém nabízený společností Iscar (4)

3 ŘÍDICÍ PROGRAM

Současná široká nabídka řídicích systémů a jejich nastavbových aplikací poskytuje potenciálnímu zákazníkovi dostatečnou volnost při rozhodování, jakým způsobem připravit řídicí programy pro CNC stroje. Dodavatelé těchto systémů se, i na základě reakcí zákazníků, zaměřili zejména na co nejvýraznější zjednodušování tvorby řídicího programu, zvýšení efektivity a přesnosti řízeného procesu. Při standardním postupu ale i nadále obsluha nebo programátor obráběcího stroje zapisuje G-kódy přímo do řídicího systému stroje. Riziko chyby (přepsání číselného údaje, špatná poloha desetinné tečky, aj.) při tvorbě programu je značné. Jedinou možností ověření správnosti programu je obrábění dle NC programu v režimu simulace. V některých případech stroj, který je určen pro obrábění, stojí, programátor se zabývá psaním a následným odlaďováním programu. Jedním ze způsobů, jak tento nepříjemný efekt omezit, či zcela odstranit, je přenést celý proces programování a simulace do kanceláře technologa a využít potenciál, který nám umožňují CAD/CAM aplikace (viz Obr. 30). (9) Tento způsob programování CNC strojů je velmi efektivní a progresivní, ale v podmínkách malé firmy, respektive nasazení jen jednoho stroje, je značně ekonomicky náročný, jelikož software pro CAD/CAM programování je drahý.



Obr. 30 ukázka CAD/CAM programování (10)

Výrobci CNC řídicích systémů nabízejí svá řešení, která lze souhrnně pojmenovat jako „aplikace pro dílenské programování“. Tento způsob programování nevyžaduje znalost G-kódu a je založen na tzv. definování technologických postupů. Hlavní omezení těchto systémů představuje jejich neuniversálnost, každý řídicí systém má svoji nastavbu dílenského programování, a takto vytvořený řídicí program není možné spustit na stroji vybaveném jiným řídicím systémem. (9, 5, 12)

3.1 Volba řídicího systému

Zvolený soustružnický automat Sprint 65-8 linear je od výrobce v základní nabídce dodáván ve dvou variantách řídicích systémů, se Sinumerikem 840D powerline, nebo Fanucem 310i. Pro tuto práci byl zvolen řídicí systém Sinumerik, dodávaný společností Siemens.

3.1.1 Řídicí systém Sinumerik (Software)

Řídicí systém Sinumerik 840D powerline je digitální systém vhodný prakticky pro všechny aplikace. Vysoký stupeň modularity umožňuje rychle přizpůsobit tento systém požadavkům konkrétní aplikace. Systém 840D powerline je systémová platforma s pokrokovými funkcemi pro téměř všechny technologie.

Společně s digitálním měničem Simodrive 611 představuje systém Sinumerik 840D powerline kompletní digitální řešení vhodné pro složité obráběcí funkce a zároveň vykazuje vysokou úroveň dynamiky a přesnosti.

Škálovatelnost hardwaru a softwaru předurčuje Sinumerik 840D powerline pro použití v širokém spektru aplikací. Možné je nasazení na strojích požadujících jednoduché polohovací funkce až ve složitých mnohoosových obráběcích centrech. (12)



Obr. 31 Řídicí systém Sinumerik 840D powerline (12)

3.1.2 Řídicí systém DMG (Hardware)

CNC řídicí systémy koncernu Gildemeister přesvědčují použitím komponent nejvyšší výkonnosti, velkou kapacitou paměti, velmi krátkými časy cyklů a moderní architekturou. Významného náskoku a efektivnosti se však dosahuje teprve tím, že společnost DMG důsledně implementuje do řídicích systému své know-how, specifické pro daný stroj. Komplexní 3D-simulace obrobku včetně spolehlivé kontroly kolizí, komfortní měřicí a seřizovací funkce, integrace specifických obráběcích cyklů nebo realizace technologicky orientovaných programovacích paketů jsou jen některé příklady kompetence, se kterou DMG konfiguruje standardní konstrukční celky v hightech-řídicích systémech. Cesta k diferenciaci vede prvořadě dosahováním vyšší bezpečnosti vysoce

komplexních funkcí obráběcího stroje a ještě snazšího ovládání obsluhujícím personálem. Výrobci řídicích systémů mohou pro dosažení tohoto cíle nanejvýš vytvořit rámcové podmínky. O úspěšné realizaci a aplikaci nakonec vždy rozhoduje know-how výrobce stroje. (5)

Specifické rysy řídicích systémů DMG:

- Velká obrazovka TFT 15" – velmi dobrá čitelnost, rozsáhlá podpora obsluhy a programování, velkorysé grafické zobrazení.
- Systémový hardware – moduly nejvyšší výkonnosti a s velkou pamětí – nejrychlejší časy cyklů, nejmodernější architektura řídicích systémů
- Ergonomické ovládací pulty DMG – uživatelsky výhodný design, efektivní ovládání, rozsáhlé funkčnosti Softkey (viz Obr. 32).
- Rychlé a jednoduché programování – technologicky orientované programové pakety pro všechny aplikace, rozsáhlá nabídka cyklů, komfortní funkce pro měření a seřizování, 3D-simulace obrobku.
- Špičková technologie, nejmodernější komunikační a síťové prostředky – efektivní funkce pro správu a práci s tabulkami a parametry, DMG Netservice, rozhraní Ethernet v základním provedení, aktivní datové rozhraní pro spojení s DMG Powertools. (5)



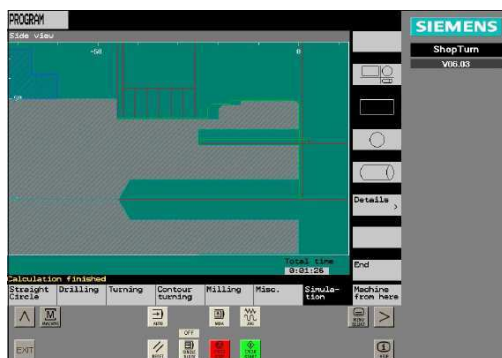
Obr. 32 Ovládací panel řídicího systému DMG (5)

3.1.3 ShopTurn

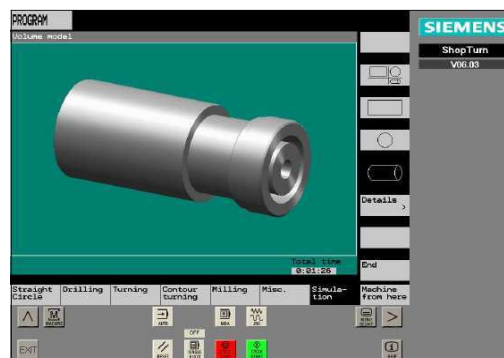
Software ShopTurn je komfortní prostředí pro ovládání a dílenské programování. Uživatelé umožní zvýšit efektivitu práce a zkrátit čas nezbytný pro přípravu zavedení výroby. ShopTurn je vhodný zejména pro soustruhy s jedním vřetenem, ale podporuje i osu C a protivřetenem. Programuje se prostřednictvím grafického rozhraní metodou krok po kroku s jednoduchou možností editace. Programovat lze bez znalosti G-kódu, vkládání programovacích bloků DIN/ISO je nicméně možné. Velkou výhodou je možnost využití již hotových programů pro nově vyráběné díly. Problémem nejsou ani chybějící rozměry, protože vestavěná funkce pro výpočet kontury může dopočítat až 50 neurčitých tvarů nebo přechodů. Při programování nebo simulaci jsou údaje na monitoru přehledně uspořádány a jsou neustále aktuální. (12)

3.2 Řídicí program

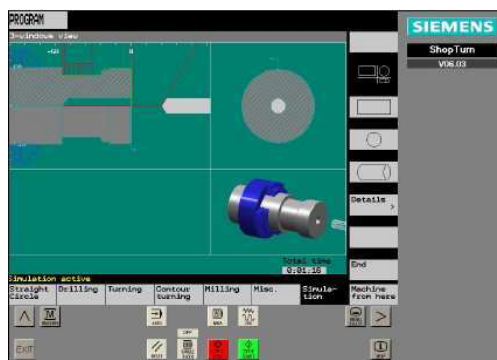
Pro tvorbu řídicího programu, a především pro možnost simulace a následné vyhodnocení strojních časů, byla použita nástavba Sinumeriku, software pro dílenské programování Shopturn v aplikaci Sinutrain. Protože tento software nepodporuje tvorbu programu pro 8 os najednou, byly jednotlivé úseky výroby dílce naprogramovány zvlášť s následným sečtením jednotlivých časů pro operace, které byly prováděny současně.



Obr. 33 Simulace drah nástroje



Obr. 34 Simulace na 3D modelu



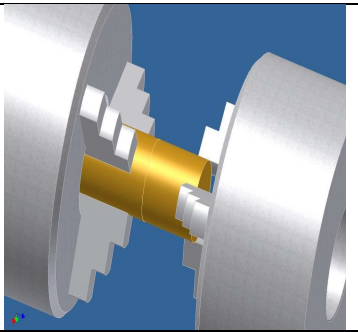
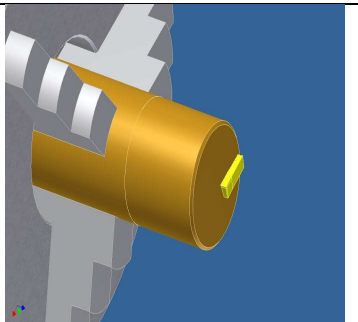
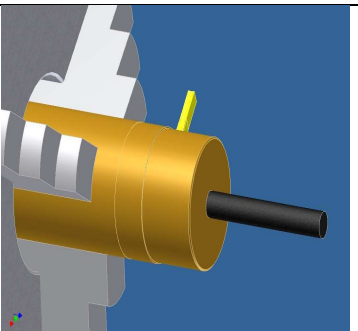
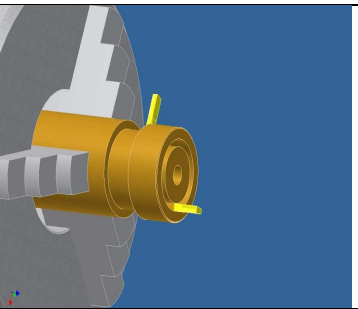
Obr. 35 Simulace ve všech možných pohledech

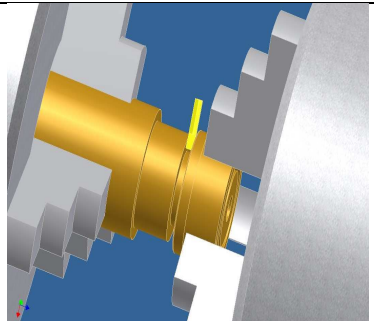
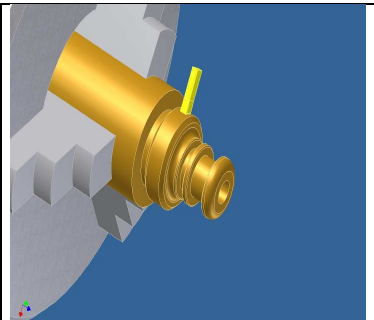
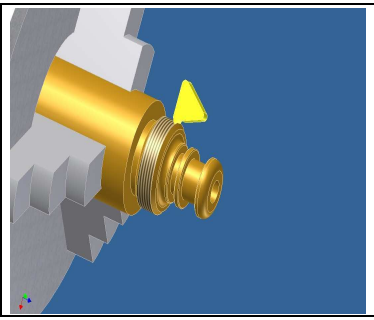
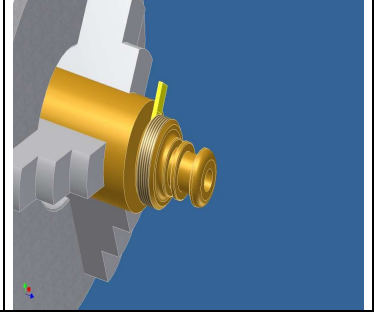


Obr. 36 Sestavený řídicí program

3.3 Simulace programu

Nejdůležitější kroky operace byly pro přehlednost vymodelovány v 3D modeláři Inventor 11. Nově navržená technologie vychází z předpokladu nasazení dvouvrátenového a dvourevolverového soustružnického číslicově řízeného automatu. Polotovarem je válcová tyč průměru 50 mm.

Operace	Popis Operace	Snímek operace
č. 1.	Povytnout tyč protivřetenem o 44 mm.	
č. 2.	Zarovnat přídavek na délku a srazit hranu 2x45° (revolverová hlava č. 1.)	
č. 3.	Soustružit na Ø 49 mm v délce 20 mm. (revolverová hlava č. 1.) Vrtat díru Ø 10 v délce 41 mm. (revolverová hlava č. 2.)	
č. 4.	Zapichovacím cyklem hrubovat průměr pro závit. (revolverová hlava č.1.) Vypichnout Ø 37 do hloubky 20,5 mm. (revolverová hlava č. 2.)	

č. 5.	Soustružit osazení matice na $\varnothing 47$ mm, srazit hrany $0,3 \times 45^\circ$ respektive $0,5 \times 45^\circ$. Za současného otáčení obou vřeten upnout matici v délce 15 mm do protivřetene a upichnout matici bez délkového přídavku. (revolverová hlava č. 1. + protivřeteno)	
č. 6.	Zapichovacími cykly a podélným soustružením dokončit konturu čepu na čisto. (revolverová hlava č. 1. + hlavní vřeteno) Zapichovacími cykly a podélným soustružením dokončit díru matice a soustružit závit M40x1,5-6H. (revolverová hlava č. 2. + protivřeteno)	
č. 7.	Soustružit závit M40x1,5-6g. (revolverová hlava č. 1. + hlavní vřeteno) Dokončit závit matice. Vysunout matici do zásobníku. (revolverová hlava č. 2. + protivřeteno)	
č. 8.	Upichnout hotový čep.	

Simulací řídicího programu v Shopturnu jsme získali celkový strojní čas na výrobu součásti „Hubicová spojka“ 2.02 min.

4 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

Vstupní údaje ze simulace a jednotlivých propočtů nejsou zcela přesné, jelikož celý program by musel být odladěn přímo na daném stroji se zvolenými nástroji. Teprve za splnění těchto podmínek bychom získali konkrétní hodnoty časů, potřebných pro výrobu dílce, jelikož simulační software nepočítá s kinematikou stroje, respektive nedokáže zohlednit jednotlivá zrychlení a zpomalení u vřeten, ani u pohybu revolverových hlav při pracovních, či rychloposuvových pojezdech. Stejně jako spočítané časy ve výrobním postupu u stávající technologie (viz Příloha 2 a 4), kdy se vedlejší časy počítají vynásobením hodnoty strojního času daným koeficientem pro použitou technologii, musíme tyto časy brát jako orientační. Ovšem ke srovnání obou technologií naprosto dostačují.

4.1 Vstupní údaje

Provedená simulace v Shopturnu nám ukázala, že delší čas je potřebný pro obrobení čepu hubicové spojky. Ikdyž v hlavním vřetenu kontinuálně probíhá obrobení čepu ihned po odpichnutí matice, která se s protivřetenem vrací do své výchozí pracovní polohy, je dokončení obrobení matice o 12 s rychlejší. Proto pro další výpočty a porovnání budeme dál počítat jen s výrobním časem potřebným pro kompletní výrobu čepu hubicové spojky.

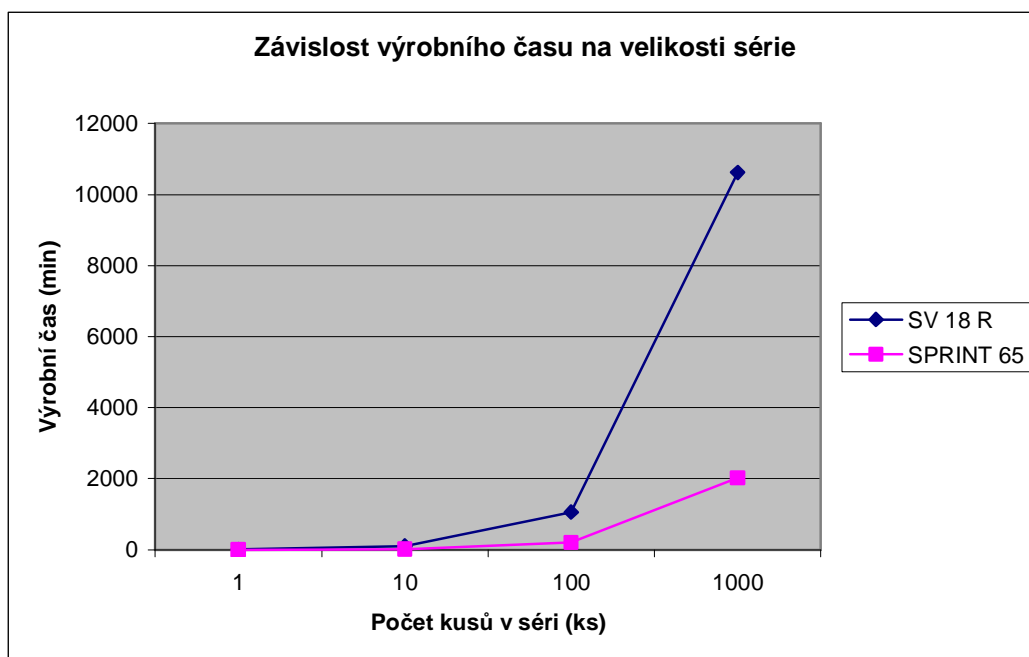
Hodnoty pro současný technologický postup jsou získané výpočtem a vycházejí z nynější používané technologie. Uvedeny jsou v technologickém postupu, který je součástí přílohy 2 a 4.

4.2 Získané hodnoty

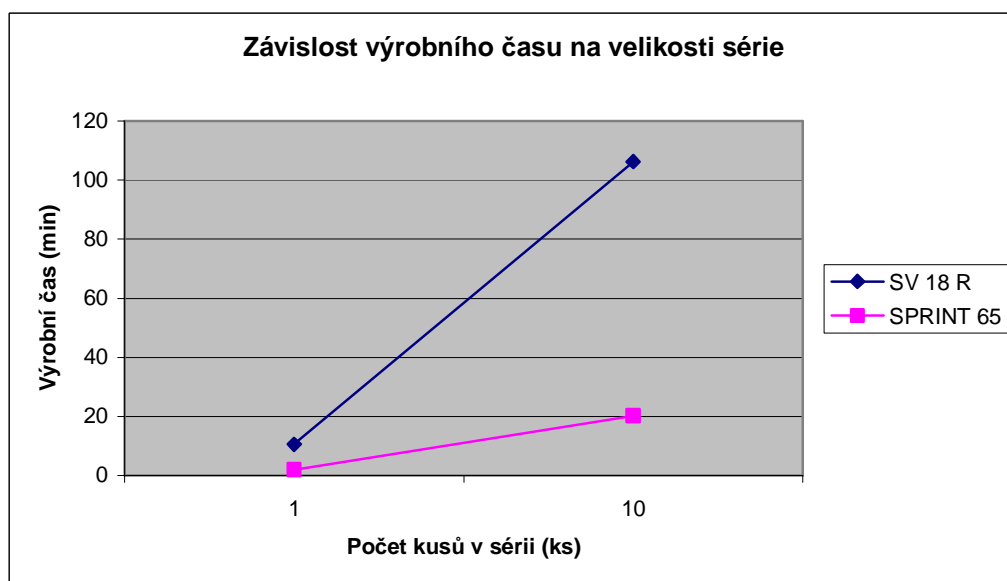
Hodnoty použité v tabulce č. 4 a v grafech Obr. 37 až 40 jsou výsledkem simulace a propočtu výrobních časů pro jednotlivé technologie, stejně jako hodnoty vyjadřující využitelnost polotovaru, které byly spočítány pro každou z technologií zvlášť (tyto výpočty jsou součástí přílohy 8).

Tab. 3 Získané hodnoty simulací a výpočtem

	SV 18 R	SPRINT 65		ROZDÍL	
VÝROBNÍ ČAS	10,62	2,02	min	81	%
NORMA SPOTŘEBY MATERIÁLU	1,17	0,83	kg	14,3	%
ZTRÁTA MATERIÁLU	0,85	0,5	kg	41,1	%
POUŽITÝCH NÁSTROJŮ	12	5	ks	7	ks

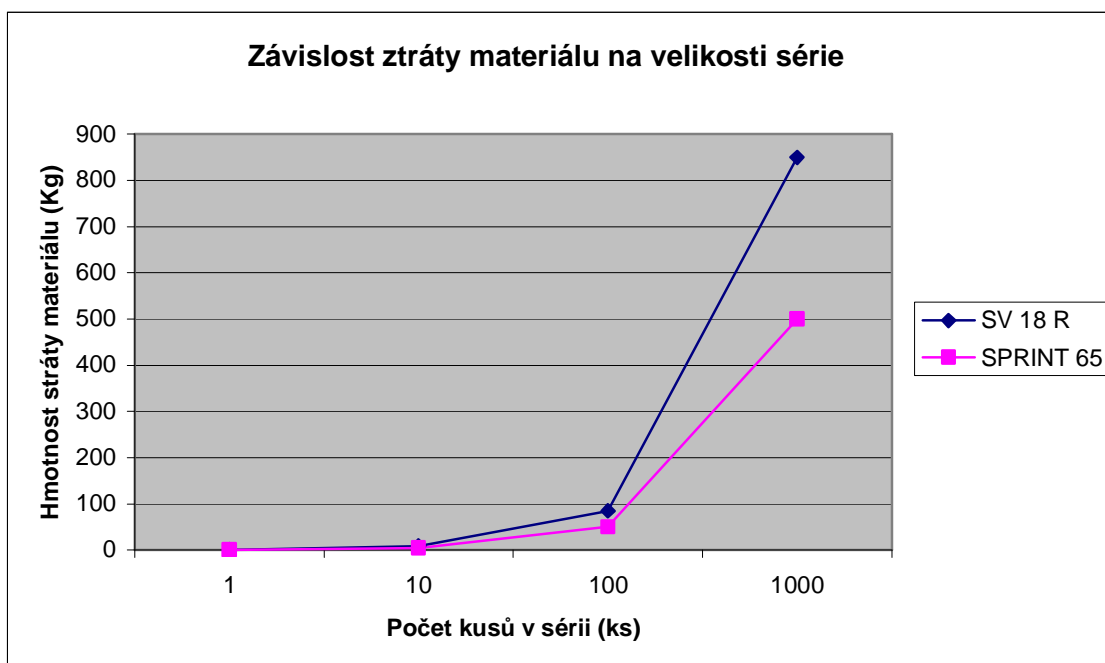


Obr. 37 Rozdíl výrobních časů jednotlivých technologií závislý na velikosti série (série 1000 ks)

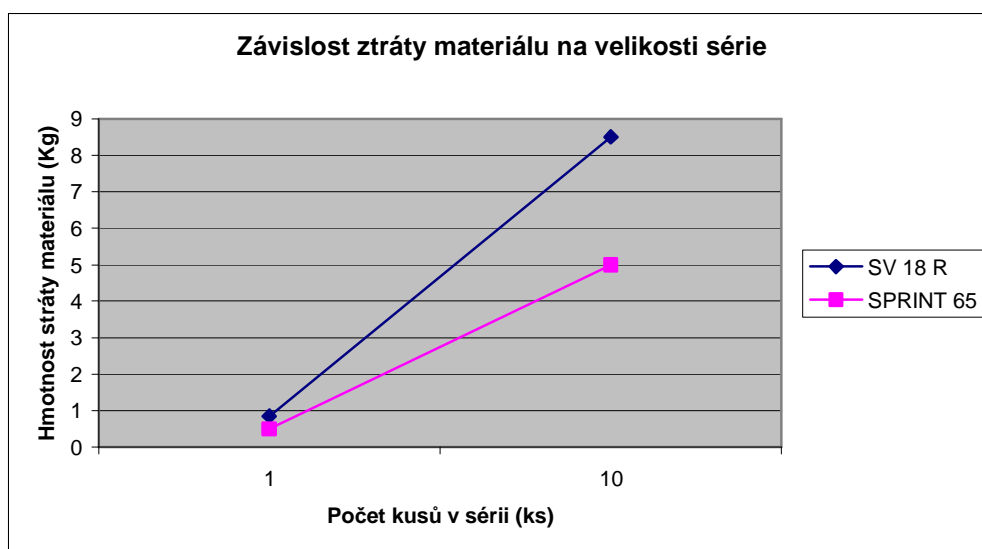


Obr. 38 Rozdíl výrobních časů jednotlivých technologií závislý na velikosti série (série 10 ks)

Z grafu vyplývá (viz Obr. 37 a 38), že již při sérii 300 ks, kdy je rozdíl mezi technologiemi 2580 minut, což je 5,4 směny, jde o velmi výrazné zkrácení výrobního času. Také úspora materiálu, která je znázorněna na dalším grafu (viz Obr. 39 a 40), při sérii 300 ks představuje rozdíl 105 kg materiálu, jednoznačně vybízí k použití nové progresivnější technologie.



Obr. 39 Rozdíl ve ztrátě materiálu pro jednotlivé technologie závislý na velikosti série (pro sérii 1000 ks)



Obr. 40 Rozdíl ve ztrátě materiálu pro jednotlivé technologie závislý na velikosti série (pro sérii 10 ks)

5 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Jednoznačné srovnání obou technologií je velmi obtížné. Jednu z komplikací představuje chybějící údaj o ceně stroje (alespoň orientační), protože ten je vždy sestavován podle konkrétních přání a požadavků zákazníka, a teprve na základě toho je pro něj vytvořena konkrétní cenová nabídka. Proto je srovnání obou technologií založeno především na porovnání procentuálních rozdílů ve výrobních časech, v počtech použitých nástrojů a v rozdílech využití materiálu.

5.1 Zjištěné rozdíly

Nasazením číslicově řízeného stroje se podařilo velmi podstatně snížit výrobní čas pro výrobu dílce „Hubicová spojka“. V kombinaci s použitím multifunkčních nástrojů se strojní čas zkrátil vůči nynější technologii o 81 %. To je efekt, který může firmě přinést rozhodující výhodu proti konkurenci. Nově navržená technologie nám umožnila díky nově uspořádané pozici obrobku snížit spotřebu materiálu o 14,3 %, což je další významná úspora, výrazně upřednostňující nasazení nové technologie. Mezi další přednosti nové technologie patří úspory nepřímé, do kterých můžeme zahrnout zjednodušení skladování nižšího počtu nástrojů a další podstatné zjednodušení administrativní zátěže, provázející správu těchto nástrojů.

ZÁVĚR

V současné době jsou číslicově řízené stroje, alespoň v podmínkách menších strojírenských podniků, kde postupně nahrazují konvenční stroje, často nasazovány velmi neefektivně. Stroj s velkým potenciálem plní úlohu automatu pro sériovou výrobu (hlavně tedy automotive), kdy vyrábí v nepřetržitém provozu stejné komponenty, popřípadě jejich modifikace, a to ve větších sériích. V této situaci může být naplno využito potenciálu rychlostí a otáček jednotlivých komponent, ale možnosti které nabízí filozofie moderních číslicově řízených strojů, ať už velmi rychlý přechod na novou součást, či bezobslužný provoz, bývají často naprosto opomíjeny. Tyto podniky často ani nemají pozici technologa. Řídicí program dle dodané výkresové dokumentace tvoří programátor, který zodpovídá za provoz několika strojů, a kromě toho ještě zajišťuje servis a náradí pro tyto stroje.

Situace se začíná pozvolna měnit. Velký problém nepředstavuje jen nedostatek strojírenských odborníků, ale chybí i lidé pro obsluhu těchto strojů. To vede v mnohých případech, i kvůli stále se zvyšující ceně elektřiny a ostatních vstupů, k tlakům na zefektivnění výroby. Proto se klade mnohem větší důraz na technologickou přípravu výroby. V případě podniků, které spolupracují se zahraničními subjekty, nelze opomenout ani vliv ekonomiky. Posilováním koruny dochází ke snížení marže podniků, což je právě nutí hledat úspornější technologické postupy.

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout novou technologii s využitím číslicově řízeného stroje tak, aby nedošlo jen k přenesení nynějšího výrobního postupu na nový rychlejší stroj, ale abychom dosáhli zároveň i výrazné úspory výrobního času. To se díky konstrukci dílce, pro který byla nová technologie zpracována, a možností nasazení moderního stroje spolu s nekonvenčními nástroji, určitě podařilo. Slovy čísel se výrobní čas snížil o 81 %, což i při vyšší pořizovací ceně navrhnutého stroje, zcela překročilo očekávání. Navíc se podařilo díky nové technologii a přístupu k problému snížit spotřebu materiálu o 14,3 %. Tuto úsporu lze určitě považovat za další velmi pádný argument, proč doporučit navrhovanou technologii.

Za zmínku stojí i radikální omezení počtu nasazených nástrojů. Snížily se tím podstatným způsobem náklady na nákup nástrojů, a také se ušetřily nástrojové pozice v revolverových hlavách stroje. To je jeden ze základních předpokladů pro nasazení sesterských nástrojů, bez nichž by nebylo možné aplikovat bezobslužný provoz stroje.

Zadané téma nenabízí pouze jedno a naprosto zřejmé řešení, ale vede k širokým úvahám o dané problematice a dostupných možnostech. Proto je pochopitelné, že rozsah této bakalářské práce nenabízí dostatek prostoru pro rozsáhlé a detailně zpracované řešení. Smyslem bylo především provést základní představení zadaného problému s důrazem hlavně na návrh nového technologicky zajímavého řešení, použitých strojů a nástrojů. To vše bylo následně srovnáno s doposud běžně používanými postupy a metodami. Hlubší a detailnější rozbor této problematiky by samozřejmě mohl být námětem pro další, již rozsáhlejší, práci, která by využila poznatků, uvedených na předchozích stranách, a dále by s nimi pracovala.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CNC – AUTOMATIC TURNING. Gildemeister. [online]. [cit. 1. května 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <[http://www.gildemeister.com/query/internet/v3/igpdf.nsf/2E9C3FF70F841EBCC12571E30047BEC7/\\$file/pt0uk07_SPRINT20324250652653linear.pdf](http://www.gildemeister.com/query/internet/v3/igpdf.nsf/2E9C3FF70F841EBCC12571E30047BEC7/$file/pt0uk07_SPRINT20324250652653linear.pdf)>.
2. GILDEMEISTER. [online]. [cit. 10. dubna 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://www.gildemeister.com/de,dmg,dmg-czech>>.
3. ISCAR. [online]. [cit. 10. dubna 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://www.iscar.cz/>>.
4. ISCAR. Kompletní přehled nástrojů Iscar (Katalog). Vydáno 01/2006.
5. JOURNAL 01/2008. Gildemeister. [online]. [cit. 7. května 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <[http://www.gildemeister.com/query/v3/igpdf.nsf/F42EA6F7D848872EC1257433004A08D3/\\$file/-Microsoft Internet Explorer](http://www.gildemeister.com/query/v3/igpdf.nsf/F42EA6F7D848872EC1257433004A08D3/$file/-Microsoft%20Internet%20Explorer)>.
6. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Akademické nakladatelství Cerm s.r.o. Brno, leden 2004. 227 s.
7. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. Vysoké učení v Brně Fakulta strojního inženýrství. Akademické nakladatelství Cerm s.r.o. Brno, prosinec 2005, vydání druhé. 270 s.
8. LEINVEBER, J., VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Scientia, spol. s r. o., Praha, 1996. 578 s.
9. POLZER, A. Příklady úloh CNC programování. [online]. [cit. 5. května 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <http://www.techtydenik.cz/priklady_cnc.php>.
10. POWERMILL. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. [online]. [cit. 1. května 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://cadcam.fme.vutbr.cz/?page=powermill&sub1=mobil>>.
11. SINUTRAIN. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. [online]. [cit. 1. května 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://cadcam.fme.vutbr.cz/?page=sinutrain>>.
12. SIEMENS. [online]. [cit. 1. dubna 2008]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=3c76394997&ctxp=home>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_p	mm	Hloubka řezu
v_c	m.min ⁻¹	Řezná rychlost
f	mm.ot ⁻¹	posuv
A	mm	Šířka podpěry destičky
CNC		Computer Numerical Control (počítačem řízený)
CAD		Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování)
CAM		Computer Aided Manufacturing (počítačová podpora výroby)
W	mm	Šířka řezné destičky
t_{AS}	min.ks ⁻¹	Jednotkový strojní čas cyklový
t_{AC}	min.ks ⁻¹	Jednotkový čas práce
ρ	kg.dm ⁻³	Hustota
Q_s	kg.ks ⁻¹	Hmotnost hotové součásti
q_d	kg.ks ⁻¹	Ztráta materiálu při dělení tyče
q_o	kg.ks ⁻¹	Ztráta materiálu při obrábění
q_k	kg.ks ⁻¹	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti - čep
Příloha 2	Výrobní postup čepu
Příloha 3	Výkres součásti - matice
Příloha 4	Výrobní postup matice
Příloha 5	Tabulka technických údajů Hrotového soustruhu SV 18 R
Příloha 6	Parametry pro volbu geometrie řezné destičky
Příloha 7	Parametry pro volbu utvařeče třísky
Příloha 8	Výpočty normy spotřeby materiálu pro jednotlivé technologie

